

การทดสอบการทำงานของระบบรับส่งข้อมูลด้วยแสงอินฟราเรดสำหรับ  
อุปกรณ์นิวคลีโอนิกส์

เครื่องต้นแบบที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ อุปกรณ์อะนาล็อก อินพุต/เอาต์พุต ไมโครคอนโทรลเลอร์ อินฟราเรดโมเด็ม ไมโครคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับส่งข้อมูลต้นทางและอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทาง เพื่อให้การทำงานของระบบรับส่งข้อมูลด้วยแสงอินฟราเรดสำหรับอุปกรณ์นิวคลีโอนิกส์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงได้ทำการทดสอบสมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆดังนี้

- (1) อุปกรณ์อะนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาล็อก
- (2) อินฟราเรดโมเด็ม ได้แก่ วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลแบบ FSK วงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK วงจรมอดูเลตสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรดแบบพรีแอมป์มอดูเลชันและวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FSK จากแสงอินฟราเรด
- (3) ทดสอบหาขีดจำกัดของระยะเวลาการทำงานของระบบรับส่งข้อมูลด้วยแสงอินฟราเรด

นอกจากนี้ได้ทำการทดสอบการประยุกต์ใช้งานเครื่องต้นแบบกับอุปกรณ์นิวคลีโอนิกส์บางชนิด ได้แก่ ทดสอบการใช้งานในรูปแบบของเรดมิเตอร์ และทดสอบการใช้งานในรูปแบบของอุปกรณ์วิเคราะห์ชนิดช่องเดียว

#### 4.1 ทดสอบการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

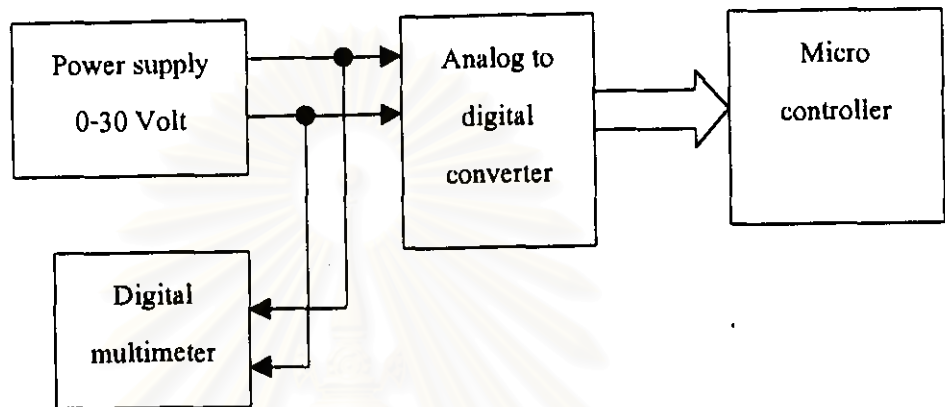
เพื่อทดสอบหาความเป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของการแสดงผลการวัด

##### 4.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงปรับค่าได้ 0-30 โวลต์ LODESTAR รุ่น PS-303
- (2) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น 73 Series II
- (3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-8032
- (4) วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล

#### 4.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบดังรูปที่ 4.1
- (2) ป้อนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ซอร์สโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.)
- (3) ปรับค่าแรงดันที่แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจาก 0.0 - 5.0 โวลต์



รูปที่ 4.1 การจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

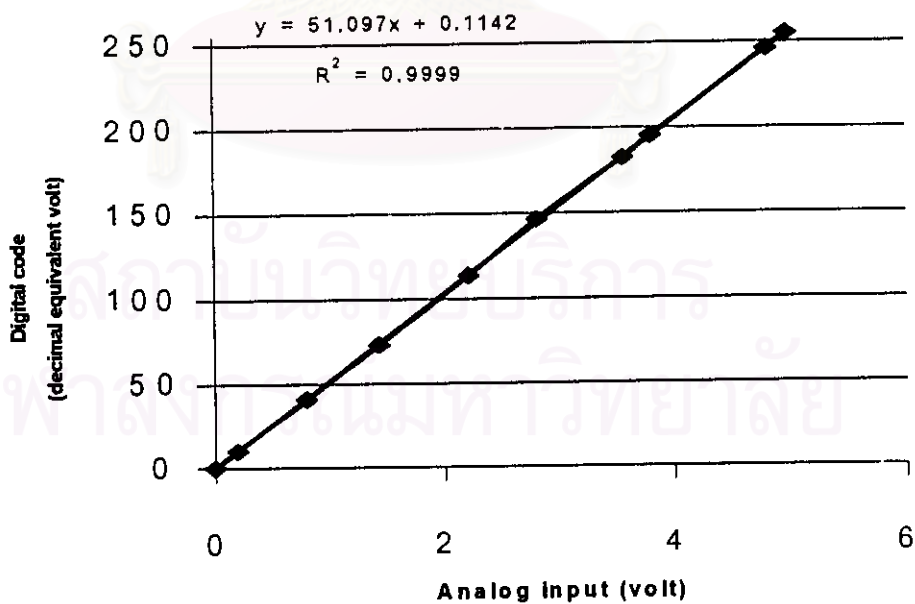
#### 4.1.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล แสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลในรูปที่ 4.2 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงผลการทดสอบการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

Analog input (volt)	Output	
	Digital code (HEX)	Decimal equivalent volt
0	00H	0
0.195	0AH	10
0.801	29H	41
1.43	49H	73
2.22	71H	113
2.82	92H	146
3.57	B6H	182
3.81	C3H	195
4.82	F6H	246
4.99	FFH	255



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล

## 4.2 ทดสอบการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก

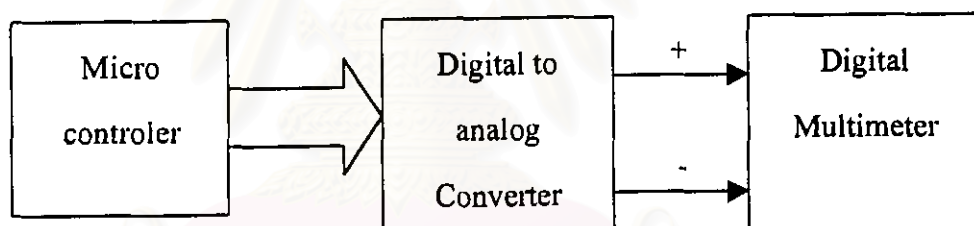
เพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอก ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของสัญญาณควบคุมการทำงานของอุปกรณ์นิวคลีออนิกส์

### 4.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ FLUKE รุ่น 73 Series II
- (2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-8032
- (3) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก

### 4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.3
- (2) ป้อนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ซอร์สโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.)
- (3) ป้อนค่าแรงดันเอาต์พุตที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ จาก 0.0 – 5.0 โวลต์ และวัดแรงดันเอาต์พุตด้วยดิจิตอลมัลติมิเตอร์



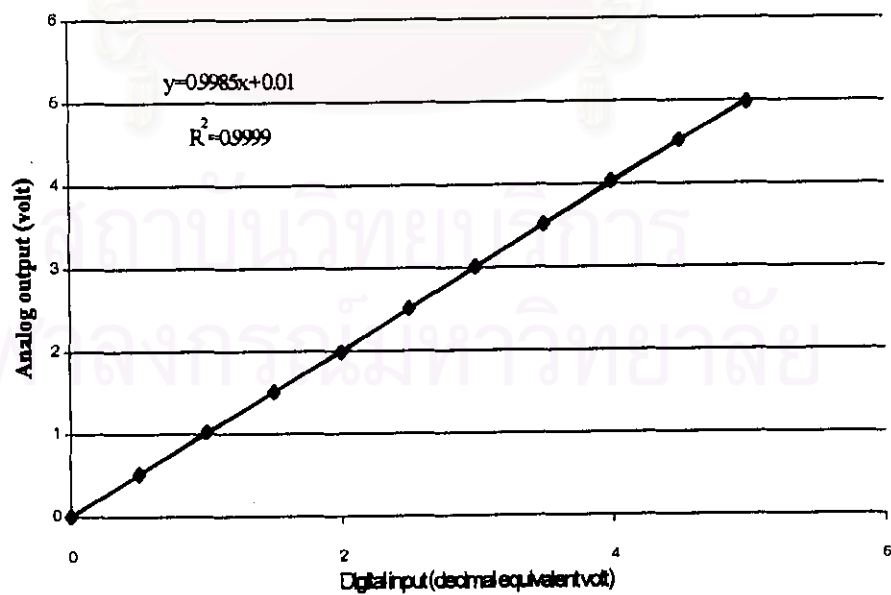
รูปที่ 4.3 การจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก

### 4.2.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอกแสดงในตารางที่ 4.2 และกราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกในรูปที่ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงผลการแปลงสัญญาณดิจิทัลออกเป็นอะนาลอก

Input		Analog output (volt)
Decimal (volt)	Digital code (HEX)	
0	00H	0
0.5	19H	0.51
1	33H	1.02
1.5	4CH	1.51
2	66H	1.99
2.5	7FH	2.51
3	99H	3.01
3.5	B2H	3.51
4	CCH	4.02
4.5	E5H	4.51
5	FFH	4.98



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก

### 4.3 ทดสอบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณ FSK

เพื่อทดสอบความถูกต้องในการแปลงสัญญาณ ซึ่งมีผลต่อความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้แสดงผลและความถูกต้องของสัญญาณที่ใช้ควบคุมระบบ

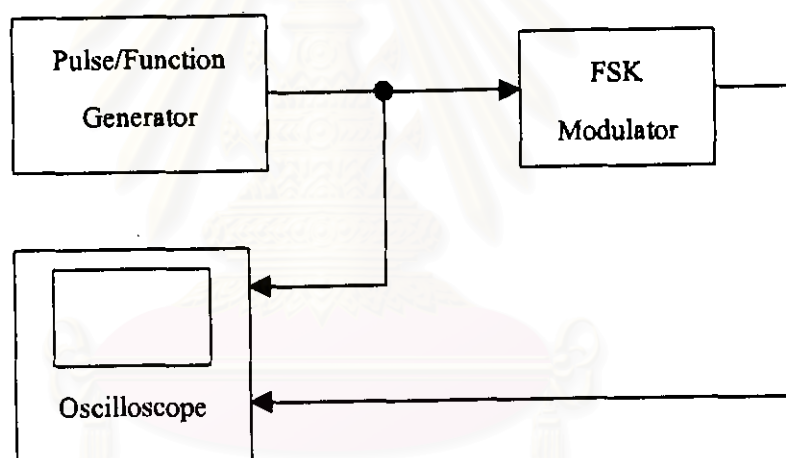
#### 4.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) HEWLETT-PACKARD Pulse/Function Generator รุ่น 8111A
- (2) Tektronix oscilloscope รุ่น TDS360
- (3) วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลแบบ FSK

#### 4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.5
- (2) ปรับ Pulse/Function Generator ไว้ที่พัลส์รูปสี่เหลี่ยม ความสูง 5 โวลต์ความถี่

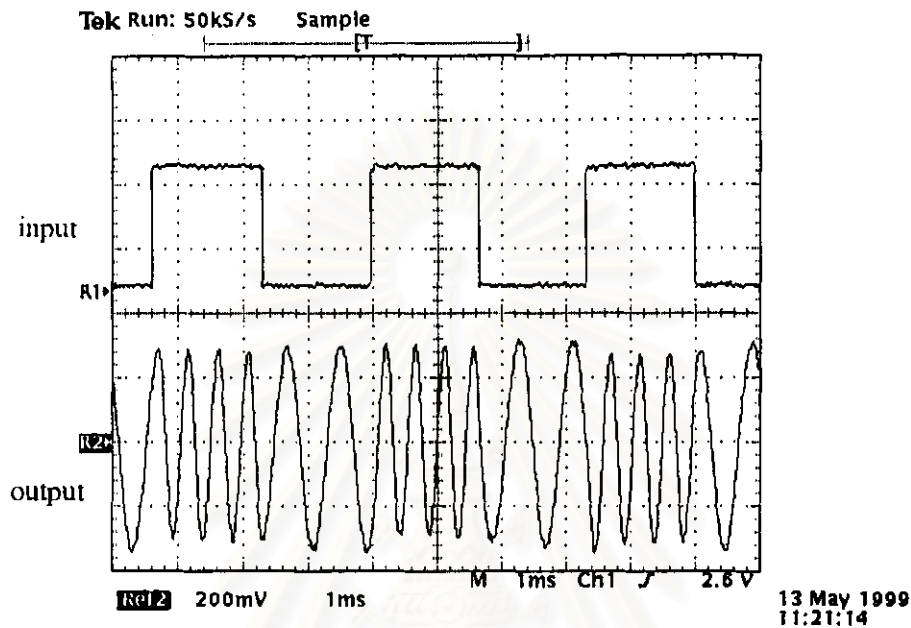
1200 Hz



รูปที่ 4.5 การจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณ FSK

#### 4.3.3 ผลการทดสอบ

ผลการวัดเปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณ FSK แสดงดังรูปที่ 4.6 โดยที่สภาวะอินพุตเป็นลอจิก "0" เอาต์พุตจะให้ความถี่ 2200 Hz และที่สภาวะอินพุตเป็นลอจิก "1" เอาต์พุตจะให้ความถี่ 1200 Hz



รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณดิจิทัลอินพุตและสัญญาณ FSK เอาต์พุต

#### 4.4 ทดสอบวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK

เพื่อทดสอบความถูกต้องในการถอดรหัสสัญญาณ FSK เป็นสัญญาณดิจิทัล

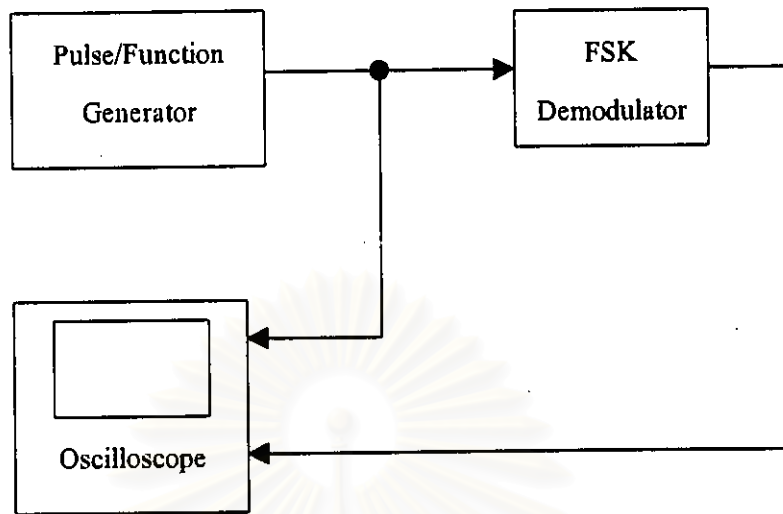
##### 4.4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) HEWLETT – PACKARD Pulse / Function Generator รุ่น 8111A
- (2) Tektronix Oscilloscope รุ่น TDS360
- (3) วงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK

##### 4.4.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.7
- (2) ปรับ Pulse / Function Generator ไว้ที่รูปขายน้ ความสูง 50 มิลลิโวลต์ ความถี่

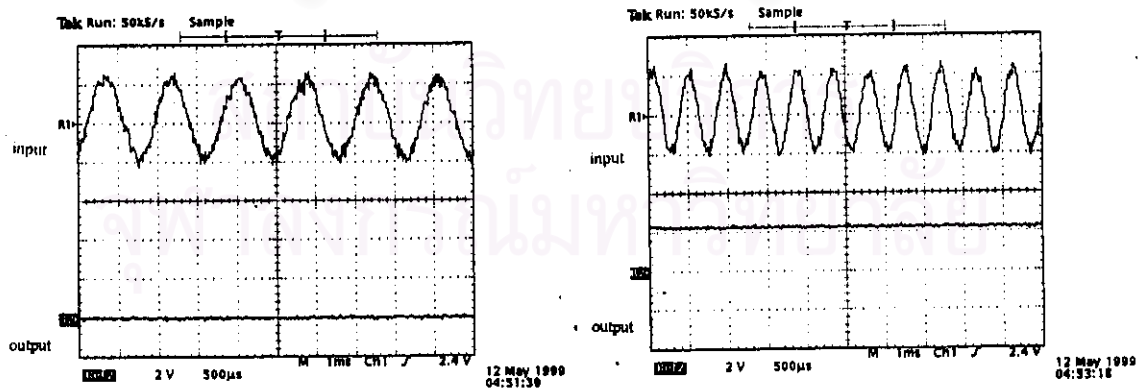
1000 Hz – 2500 Hz



รูปที่ 4.7 การจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลแบบ FSK

#### 4.4.3 ผลการทดสอบ

ผลการวัดเปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุตของวงจรถอดรหัสสัญญาณ FSK แสดงในรูปที่ 4.8 โดยที่สภาวะอินพุตเป็นความถี่ 2200 Hz เอาต์พุตจะให้ลอจิก “ 0 ” และที่สภาวะอินพุตเป็นความถี่ 1200 Hz เอาต์พุตจะให้ลอจิก “ 1 ”



รูปที่ 4.8 ผลการวัดเปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุต



#### 4.5 ทดสอบการทำงานของวงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรดแบบพรีแควนซีมอดูเลชัน

เพื่อทดสอบคุณสมบัติของวงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรด แบบพรีแควนซีมอดูเลชัน

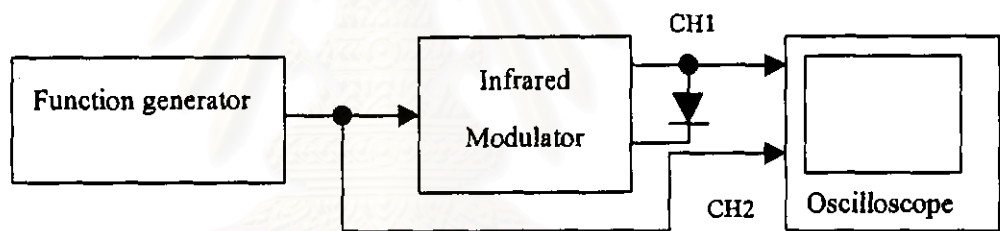
##### 4.5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) HEWLETT – PACKARD Pulse / Function Generator รุ่น 8111A
- (2) Tektronix Oscilloscope รุ่น TDS360
- (3) วงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรดแบบพรีแควนซีมอดูเลชัน

##### 4.5.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.9
- (2) ป้อนสัญญาณรูปซายน์ ความสูง 750 มิลลิโวลต์ ความถี่ 2200 Hz ที่ วงจรผสม

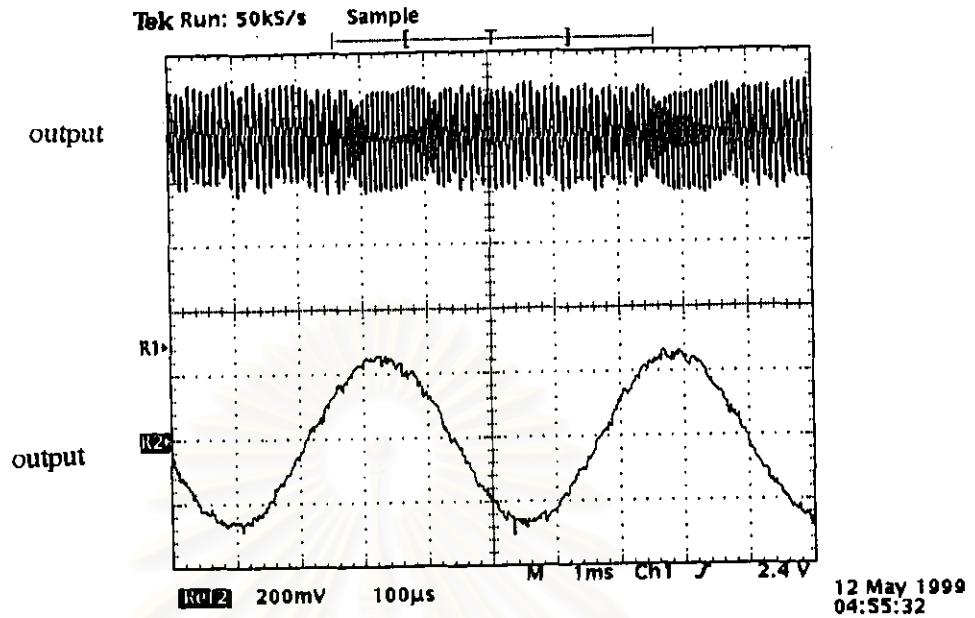
สัญญาณ



รูปที่ 4.9 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรดแบบพรีแควนซีมอดูเลชัน

##### 4.5.3 ผลการทดสอบ

ผลการวัดเปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุตของวงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรดแบบพรีแควนซีมอดูเลชัน แสดงในรูปที่ 4.10 โดย CH1 เป็นรูปคลื่นเอาต์พุตที่มอดูเลชันแล้ว ความถี่พาหะเท่ากับ 110 kHz และ CH2 คือสัญญาณรูปไซน์ความสูง 750 มิลลิโวลต์ ความถี่ 2200 Hz ที่นำมามอดูเลชัน



รูปที่ 4.10 ผลการวัดเปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตและเอาต์พุตของวงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรด แบบฟรีควีนซีมอดูเลชัน

#### 4.6 ทดสอบการทำงานของวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FSK จากแสงอินฟราเรด

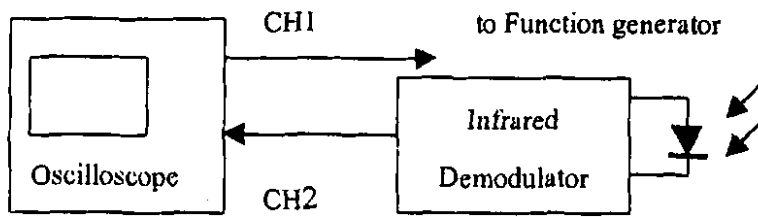
เพื่อทดสอบคุณสมบัติของวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FSK จากแสงอินฟราเรด

##### 4.6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) HEWLETT – PACKARD Pulse / Function Generator รุ่น 8111A
- (2) Tektronix Oscilloscope รุ่น TDS360
- (3) วงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FSK
- (4) วงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรดแบบฟรีควีนซีมอดูเลชัน

##### 4.6.2 ขั้นตอนการทดสอบ

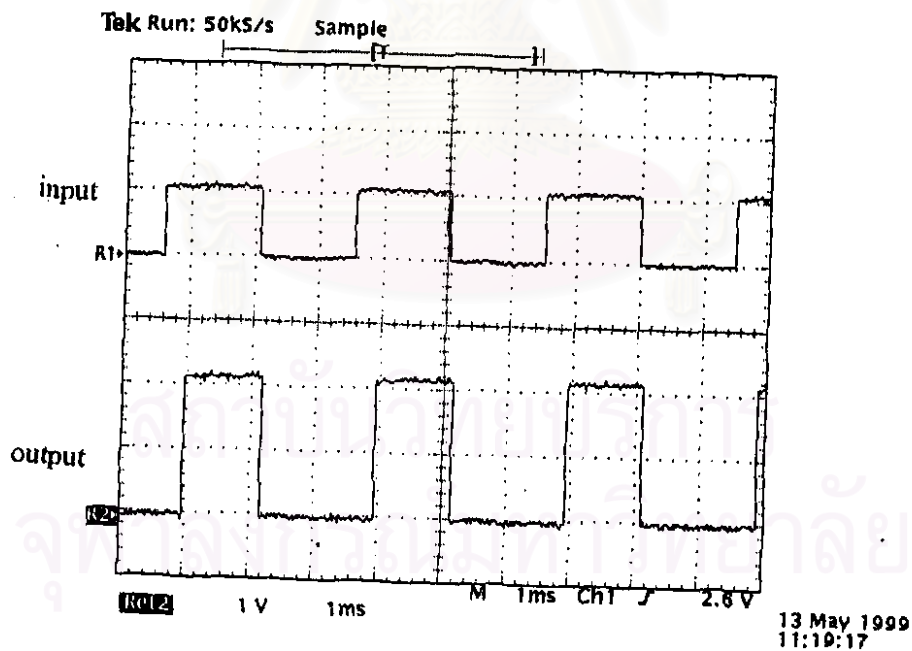
- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.9 และเพิ่มเติมในรูปที่ 4.11 และ จัดวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FSK จากแสงอินฟราเรดกับวงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรดแบบฟรีควีนซีมอดูเลชันให้ห่างกัน 4 เมตร
- (2) ป้อนสัญญาณรูปซายน์ ความสูง 750 มิลลิโวลต์ ความถี่ 2200 Hz ที่ วงจรผสมสัญญาณ
- (3) วัดเปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตที่วงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรดแบบฟรีควีนซีมอดูเลชัน และเอาต์พุตวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FSK จากแสงอินฟราเรด



รูปที่ 4.11 การจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FSK จากแสงอินฟราเรด

#### 4.6.3 ผลการทดสอบ

ผลการวัดเปรียบเทียบรูปคลื่นอินพุตที่วงจรผสมสัญญาณ FSK กับแสงอินฟราเรด แบบพรีควอนซีมอดูเลชัน และเอาต์พุตวงจรดีมอดูเลตสัญญาณ FSK จากแสงอินฟราเรด แสดงในรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 รูปคลื่นสัญญาณ FSK จากการผสมสัญญาณเชิงตัวเลข

#### 4.7 ทดสอบหาขีดจำกัดของระยะการทำงานของระบบรับส่งข้อมูลด้วยแสงอินฟราเรด

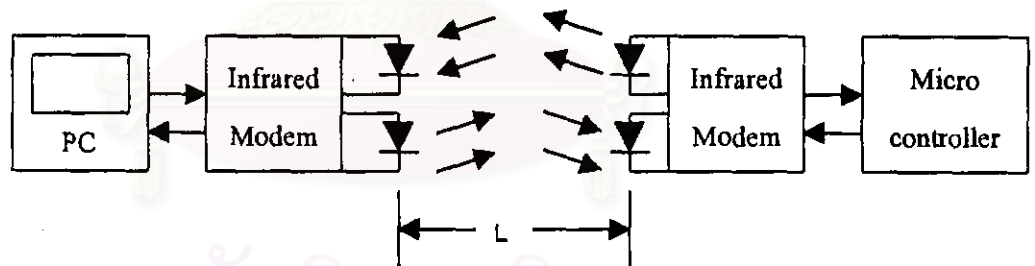
เพื่อหาขีดจำกัดของระยะการส่งรับข้อมูลระหว่างอุปกรณ์รับส่งข้อมูลต้นทางและอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทางที่พัฒนาขึ้น

##### 4.7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) ไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น ET-8032
- (2) อินฟราเรดโมเด็ม
- (3) ไมโครคอมพิวเตอร์

##### 4.7.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.13 โดยเริ่มที่ระยะห่างระหว่างอินฟราเรดโมเด็ม (L) เท่ากับ 1 เมตร
- (2) ป้อนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ซอร์สโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.)
- (3) ทดลองส่ง/รับข้อมูลระหว่างอินฟราเรดโมเด็ม
- (4) เพิ่มระยะห่างระหว่างอินฟราเรดโมเด็มเป็น 2, 3, 4, 5, 6, 7 และ 8 เมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.13 การจัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

##### 4.7.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบเพื่อหาขีดจำกัดของระยะการรับส่งข้อมูลด้วยแสงอินฟราเรดของระบบที่พัฒนาขึ้น แสดงในตารางที่ 4.3 และที่ระยะตั้งแต่ 5 เมตรขึ้นไปข้อมูลที่ได้รับได้มีความผิดพลาดสูง

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการรับ/ส่งข้อมูลในระยะต่าง ๆ

ข้อมูลที่ส่ง (HEX)	ข้อมูลที่รับได้ที่ระยะต่าง ๆ (เมตร)				
	1	2	3	4	5
01	01	01	01	01	X
1F	1F	1F	1F	1F	X
2F	2F	2F	2F	2F	X
5F	5F	5F	5F	5F	X
7F	7F	7F	7F	7F	X
88	88	88	88	88	X
AB	AB	AB	AB	AB	X
CF	CF	CF	CF	CF	X
DF	DF	DF	DF	DF	X
FF	FF	FF	FF	FF	X

X คือ นอกระยะเวลาการรับส่งข้อมูลไม่สามารถแสดงผลได้

#### 4.8 ทดสอบการใช้งานรูปแบบของเรตมิเตอร์

เพื่อทดสอบการใช้งานระบบรับ/ส่งข้อมูลในรูปแบบของเรตมิเตอร์

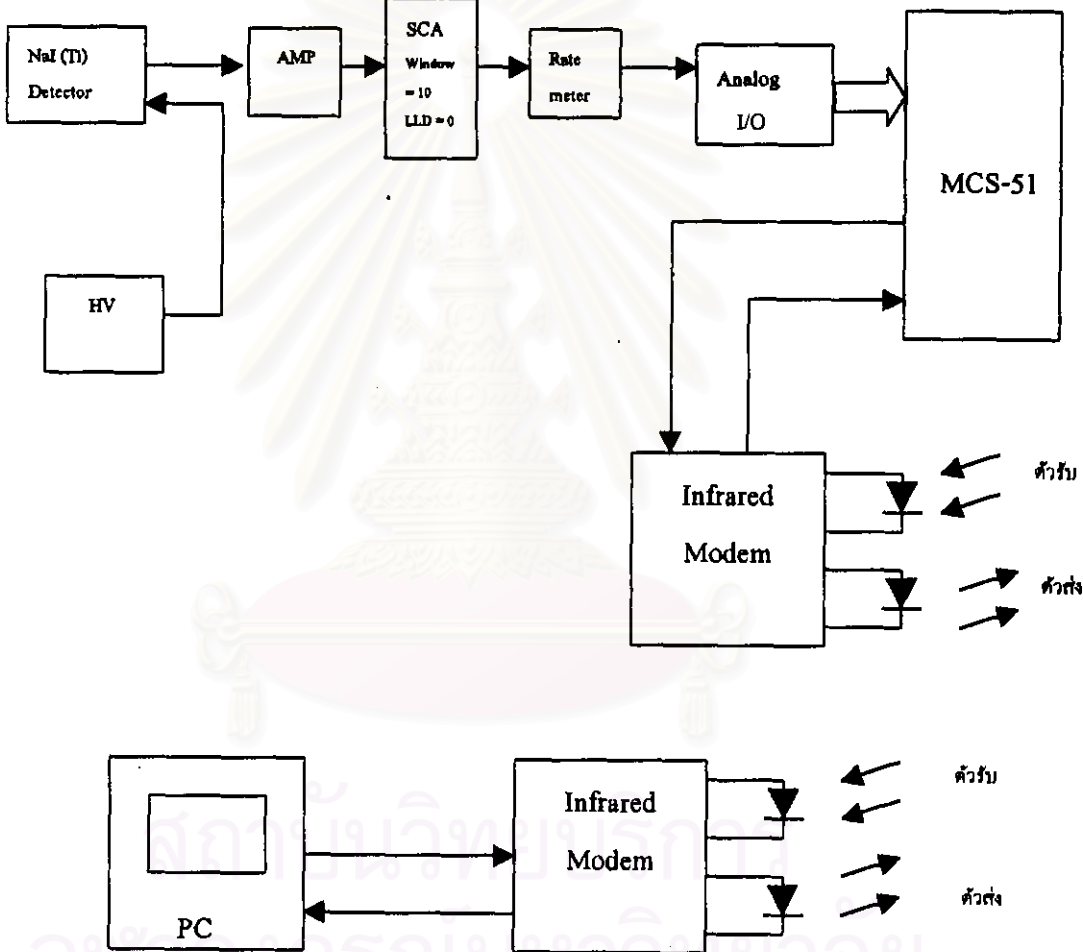
##### 4.8.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) หัววัด NaI (TI) ขนาด 2" × 2"
- (2) HV. power supply รุ่น CANBERRA 3002
- (3) Tube base รุ่น ORTEC 276
- (4) Ratemeter รุ่น ORTEC 541
- (5) SCA รุ่น CANBERRA 2030
- (6) Amplifier รุ่น CANBERRA 2011
- (7) อุปกรณ์อะนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต
- (8) ไมโครคอนโทรลเลอร์
- (9) อินฟราเรดโมเด็ม
- (10) ไมโครคอมพิวเตอร์

(11)ต้นกำเนิดครึ่งทีมาตรฐาน Cs-137 ความแรง 1  $\mu$ Ci

4.8.2 ขั้นตอนการทดสอบ

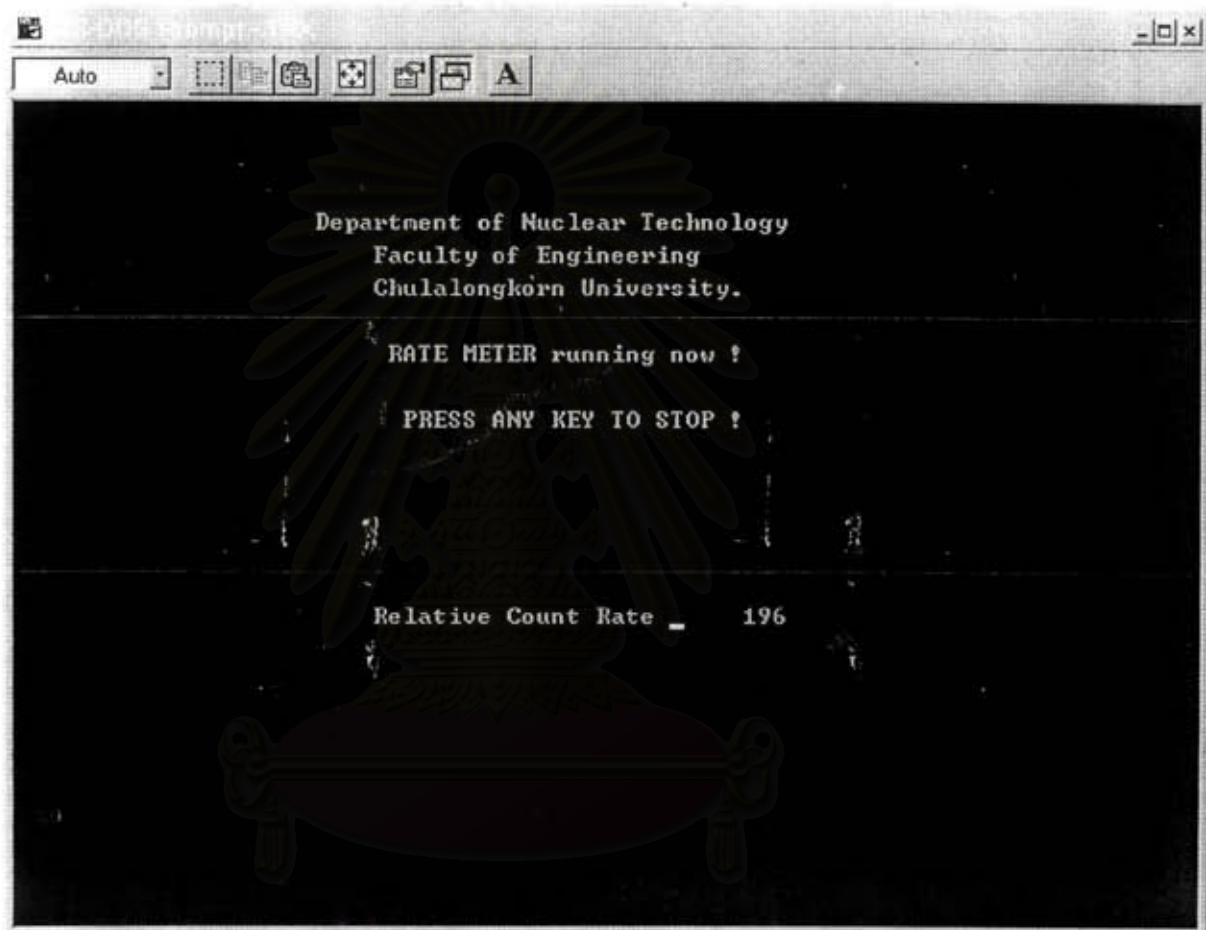
- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.14
- (2) ป้อนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ซอร์สโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.)
- (3) ป้อนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบลงในหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ (ซอร์สโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.)



รูปที่ 4.14 การจัดอุปกรณ์ทดสอบในรูปแบบของเรตมิเตอร์

## 4.8.3 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบทดสอบการใช้งานรูปแบบของเรดมิเตอร์และการแสดงผลที่หน้าจอคอมพิวเตอร์แสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งเป็นการวัดอัตราการนับรังสีจากต้นกำเนิดรังสีมาตรฐาน Cs-137



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
รูปที่ 4.15 ผลการทดสอบที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์

## 4.9 ทดสอบการใช้งานในรูปแบบของอุปกรณ์วิเคราะห์ชนิดช่องเดียว

เพื่อทดสอบการใช้งานระบบรับ/ส่งข้อมูลในรูปแบบของอุปกรณ์วิเคราะห์ชนิดช่องเดียว

### 4.9.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) หัววัด NaI (TI) ขนาด 2" × 2"
- (2) HV. power supply รุ่น CANBERRA 3002
- (3) Tube base รุ่น ORTEC 276
- (4) Ratemeter รุ่น ORTEC 541
- (5) SCA รุ่น CANBERRA 2030
- (6) Amplifier รุ่น CANBERRA 2011
- (7) อุปกรณ์อะนาล็อกอินพุต/เอาต์พุต
- (8) ไมโครคอนโทรลเลอร์
- (9) อินฟราเรดโมเด็ม
- (10) ไมโครคอมพิวเตอร์
- (11) ดันกำเนิดครึ่งสีมาตรฐาน Cs-137 ความแรง 1  $\mu\text{Ci}$
- (12) ดันกำเนิดครึ่งสีมาตรฐาน Co-60 ความแรง 10  $\mu\text{Ci}$

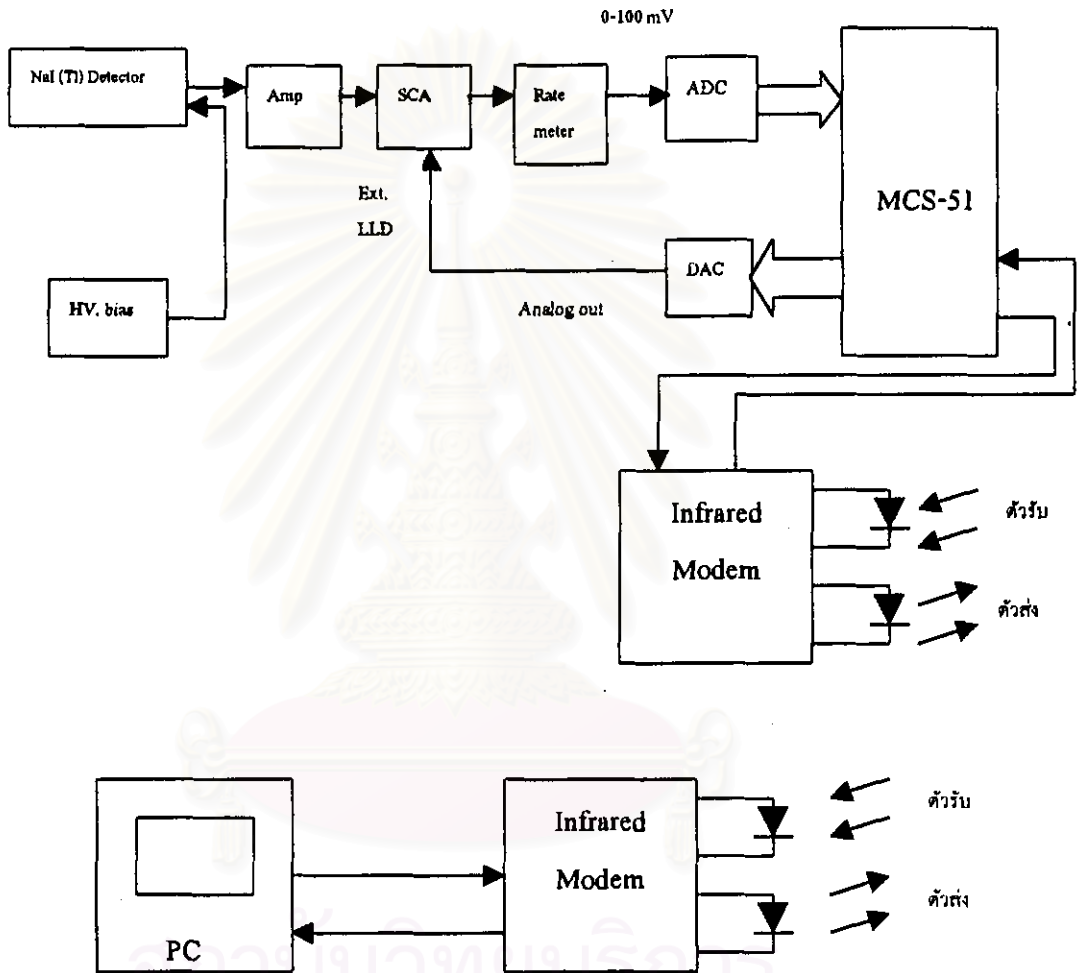
### 4.9.2 ขั้นตอนการทดสอบ

- (1) จัดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.16
- (2) ป้อนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ซอร์สโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.)
- (3) ป้อนโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบลงในหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ (ซอร์สโปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.)

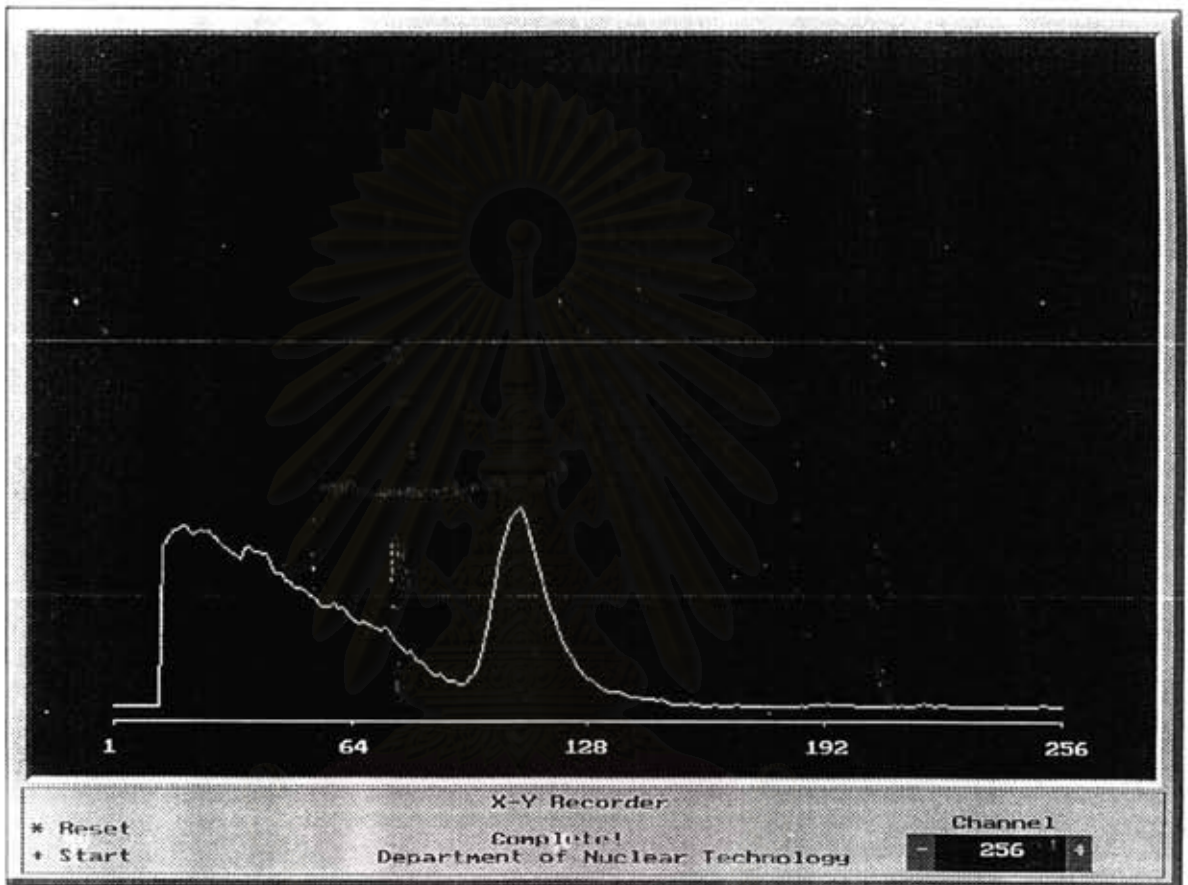
### 4.9.3 ผลการทดสอบ

รูปการทดสอบการใช้งานระบบรับ/ส่งข้อมูลในรูปแบบของอุปกรณ์วิเคราะห์ชนิดช่องเดียว การแสดงผลที่หน้าจอมอนิเตอร์ขณะวัดสเปกตรัมของ Cs-137 แสดงในรูปที่ 4.17 และการแสดงผลที่หน้าจอมอนิเตอร์ขณะวัดสเปกตรัมของ Co-60 แสดงในรูปที่ 4.18



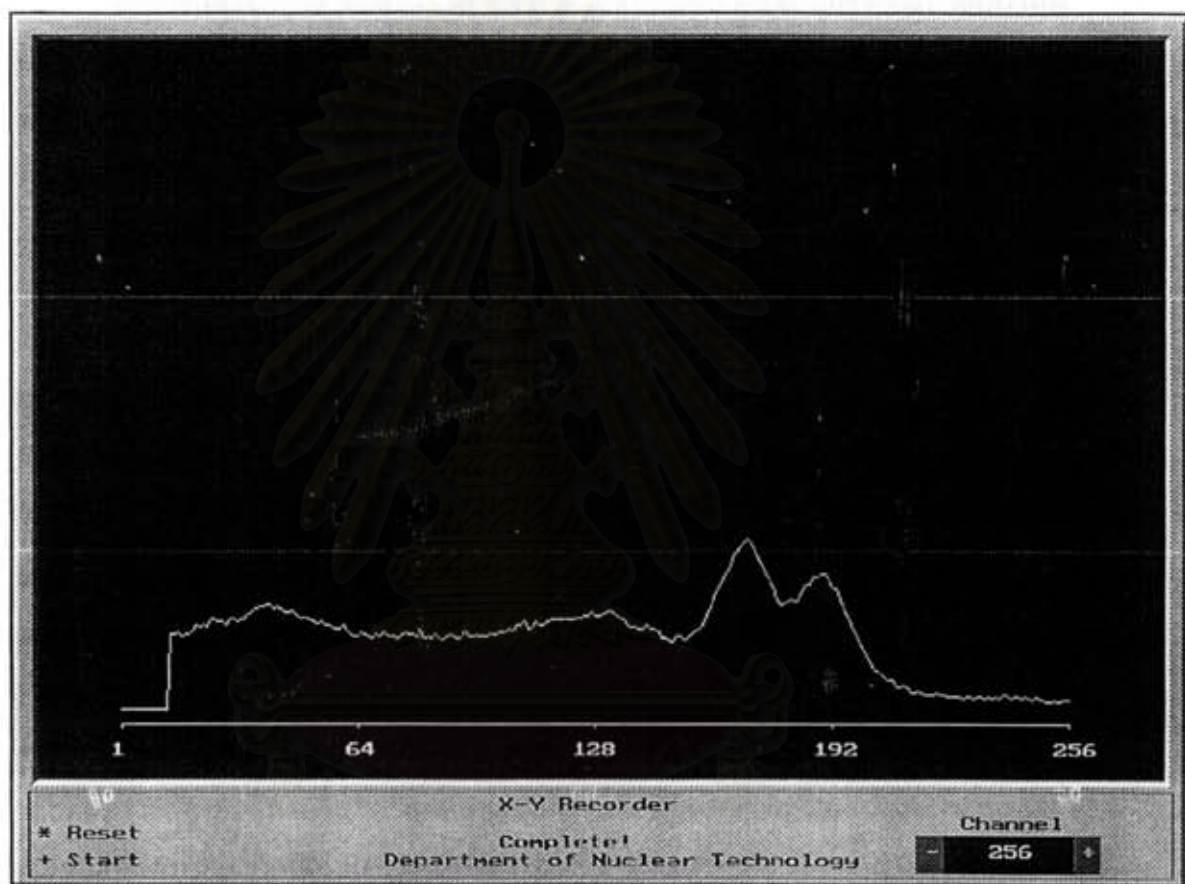


รูปที่ 4.16 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบการใช้งานในรูปอุปกรณ์วิเคราะห์ห้องเดียว



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.17 ผลการทดสอบที่แสดงบนหน้าจอแสดงผลของไมโครคอมพิวเตอร์ ขณะวัดสเปกตรัม  
ของ Cs-137



รูปที่ 4.18 ผลการทดสอบที่แสดงบนหน้าจอแสดงผลของไมโครคอมพิวเตอร์ ขณะวัดสเปกตรัมของ Co-60